

ESTUDO DO MECANISMO DOSADOR DE UM
DISTRIBUIDOR DE CALCÁRIO

MAURO FLAVIO MEZA MONTALVO
Engenheiro, Agrônomo

Tese apresentada à Escola Superior de
Agricultura "Luiz de Queiroz", da Uni
versidade de São Paulo, para obtenção
do título de "Magister Scientiae".

Novembro de 1969
Piracicaba, Estado de São Paulo
BRASIL

A meus pais, espôsa e filhos

ÍNDICE

	Página
1. INTRODUÇÃO	1
2. REVISÃO BIBLIOGRÁFICA	3
3. MATERIAL E MÉTODOS	10
3.1. Calcário	10
3.2. Máquina	11
3.3. Banco de Prova	17
3.4. Equipamentos Complementares	17
3.5. Método de Ensaio	18
4. RESULTADOS OBTIDOS E DISCUSSÃO	23
5. CONCLUSÕES	34
6. RESUMO	37
7. SUMMARY	39
8. BIBLIOGRAFIA CITADA	41
APÊNDICE	43
AGRADECIMENTOS	48

1. INTRODUÇÃO

A aplicação de calcário se inclui, necessariamente, em qualquer programa de aumento de produção pois, uma grande parte dos solos brasileiros são tão ácidos (pH menor que 5,5), que limitam o rendimento das principais culturas.

A manutenção dos atuais níveis de consumo interno e de exportação de produtos agrícolas no Brasil depende, segundo Relatório apresentado ao Ministério da Agricultura e à Divisão de Agricultura e Desenvolvimento Rural da USAID (1964), de um aumento de 23% até 1970, no volume de produção. De acordo com esse Relatório, é necessária a aplicação de cerca de 20.000.000 toneladas de calcário. Entretanto, segundo a ANDA-Associação Nacional de Adubos (1968), o consumo anual de calcário até 1964 foi de 500.000 toneladas e, até 1968, de aproximadamente 700.000 toneladas.

Vários estudos, visando determinar as causas dessa defi

ciência na utilização de calcário mostraram que, entre as medidas a serem tomadas para o fomento de sua aplicação, inclui-se a utilização de máquinas distribuidoras.

Em face dessas considerações e da inexistência de estudos sobre as máquinas distribuidoras de calcário, de fabricação nacional, nos propusemos a estudar um dos tipos mais comumente utilizados no País.

Procedeu-se o levantamento das características da operação de aplicação mecanizada de calcário e verificou-se que a homogeneidade de distribuição, a facilidade de acionamento e de manejo e o custo inicial, são os principais fatores a serem considerados no projeto e construção de uma máquina distribuidora. Levando-se em conta êsses fatores, escolheu-se para estudo um distribuidor do tipo por gravidade, com distribuição em faixa, para montagem em carrêta.

O objetivo dêste estudo é o de pesquisar o comportamento do mecanismo dosador de um distribuidor de calcário em face de variações operacionais e de componentes, do ponto de vista da homogeneidade de distribuição e da quantidade total de calcário liberada. As variáveis consideradas são: o número de aletas dos discos agitadores, a velocidade e sentido de rotação.

2. REVISÃO BIBLIOGRÁFICA

Dada a necessidade de uma distribuição uniforme dos fertilizantes e corretivos, quando aplicados na superfície do solo, surgiram os primeiros estudos a respeito de máquinas para executar satisfatoriamente essa operação.

O primeiro trabalho de que temos notícia é o de CONTI (1913), que descreve um mecanismo distribuidor de fertilizantes e corretivos constituído por uma escova cilíndrica de aço, girando em sentido contrário e em contacto com um cilindro conjugado, metálico, ambos dispostos horizontalmente e em sentido transversal ao deslocamento da máquina. O material proveniente de um reservatório e aderido à superfície do cilindro conjugado, é lançado ao solo pela escova, segundo dosagens de 100 a 1000 Kg/ha. O autor recomenda que um desempenho funcional ótimo para essas máquinas inclui, além da possibilidade da distribuição segundo uma ampla faixa de dosagem, principalmente um alto grau de uni-

formidade na aplicação.

WDOLEY (1928) constroeu e ensaia um distribuidor de calcário para ser acoplado em carreta, cujo órgão dosador é acionado por uma de suas rodas, através de um mecanismo biela-manivela. O mecanismo dosador é constituído pelo próprio fundo do reservatório, em forma de uma calha semi-cilíndrica móvel. Esta apresenta em relação ao reservatório, uma folga para permitir a liberação do calcário. Devido ao movimento retilíneo alternativo da calha, oriundo da ação conjunta do mecanismo biela-manivela e de uma mola, o calcário nela contido é lançado fora, caindo ao solo pela ação da gravidade. Após os ensaios, cujo procedimento e resultados não são fornecidos pelo autor, duas objeções foram feitas. A primeira, em relação às dificuldades de acoplamento do mecanismo biela-manivela a diferentes tipos de cubos de rodas de carretas e, a segunda, com relação à não uniformidade de distribuição do calcário ao longo do percurso de máquina no campo.

MEHERING & CUMINGS, citados por RICHEY (1961), estudando os fatores que afetam a aplicação de fertilizantes e corretivos em cobertura, concluem que a habilidade de escoamento desses produtos através de mecanismos dosadores, é afetada pelas seguintes propriedades físicas: grau de higroscopicidade ou tendência de absorver umidade do ar, tamanho e forma das partículas e peso específico do material. Os autores consideram que, o ângulo de repouso do material poderá fornecer uma indicação, embora grosseira, de sua capacidade de escoamento.

STONE & GULVIN (1961), referindo-se aos reservatórios de distribuidores de calcário por gravidade com distribuição em faixas, consideram seu comprimento como fator determinante da largura da faixa de trabalho ou de deposição, a qual varia de 2,40 a 3,60 m. Quanto às demais dimensões, os autores consideram ideal um conjunto com capacidade de 150 kg de calcário ou fertilizante por metro de comprimento do reservatório. Nessas condições, a capacidade de campo observada para essas máquinas va-

ria de 10 a 12 ha/dia, para reservatórios de 2,50 a 3,00 m de comprimento, respectivamente.

RICHEY (1961), descrevendo mecanismos dosadores de calcário por gravidade, com distribuição em faixas, distingue dois tipos de máquinas: a) distribuidora por gravidade propriamente dita, nos quais o material escoava livremente do reservatório para o solo, através de orifícios, de abertura controlada e b) distribuidora por gravidade com mecanismo dosador. As máquinas do primeiro tipo são recomendadas apenas quando o material apresenta uma grande habilidade de escoamento.

PASSELEGUE (1963), descreve vários tipos de máquinas distribuidoras de calcário por gravidade com distribuição em faixas, tanto para tração animal como para trator. Dos mecanismos dosadores descritos considera que, atualmente, os mais utilizados são: a) correia sem-fim ou corrente com taliscas que se movimentam sobre o fundo do reservatório, b) árvores com discos - agitadores, c) pratos rotativos e d) rosca sem-fim. O autor recomenda, para todas as máquinas, que a altura máxima do bordo superior do reservatório deve ser de 1 m acima do nível do solo.

KLINNER (1967) ensaia uma distribuidora de calcário e fertilizantes por gravidade produzida industrialmente, verificando que a homogeneidade de distribuição ao longo da faixa de deposição depende, para uma dada regulagem e produto, das características do mecanismo dosador. Quanto à homogeneidade de distribuição ao longo do percurso da máquina no campo, constata ser influenciada pelas condições da superfície do terreno. Verifica que obstáculos de 40 mm de altura, proporcionam solavancos suficientes para dobrar a dosagem prevista. O autor recomenda que seja mantido constante o nível de calcário no interior do reservatório, para que não seja prejudicada a uniformidade de distribuição. Estabelece ainda, uma velocidade de 8 km/h como ideal para o deslocamento da máquina no campo. Segundo este mesmo autor a capacidade de campo da máquina é afetada pela área de apli

cação e frequência com que o reservatório deve ser reabastecido.

SMITH (1967), menciona a utilização de distribuidoras por gravidade, rebocadas, nas quais o mecanismo dosador libera o produto sobre uma tábua inclinada, visando obter-se maior uniformidade na distribuição ao longo da faixa de deposição. Cita o emprêgo de distribuidoras centrífugas, a lança, nas quais o produto é lançado ao solo por um disco giratório. Para todos os tipos de máquinas, o autor recomenda a quebra dos torrões e o peneiramento, antes do produto ser colocado nos reservatórios. Com relação à eficiência da aplicação mecânica de calcário e fertilizantes cita, como importantes, os seguintes fatores: umidade relativa do ar, dosagem de aplicação, composição química e estado físico do produto.

Com relação ao cálculo da dosagem de aplicação, efeitos da utilização do calcário e exigências de pH pelas plantas, inúmeros são os trabalhos realizados no Brasil.

CATANI & GALLO (1955), estudando a determinação da quantidade de calcário que requer um solo, estabelece a correlação - entre a percentagem de saturação em base (V%), acidez titulável (H) e pH, deduzindo a seguinte fórmula:

$$n = \frac{V_2 - V_1}{1 - V_1}$$

onde,

n = e.mg de bases por 100 g de solo necessários para elevar o pH deste solo ao valor desejado; V_2 = V% necessária para atingir o pH desejado; V_1 = V% do solo.

Ainda, os autores fazem referência a uma tabela que permite calcular a quantidade de calcário a ser adicionada em 1 ha, na profundidade de 0 - 15 cm, suficientes para elevar a um valor próximo de 6,5 o pH do solo.

MALAVOLTA (1959) refere-se aos efeitos que produz a calagem, assinalando como mais importantes, os seguintes: evita a

ação tóxica do Al e Mn; coloca à disposição da planta outros elementos; permite a atuação eficiente dos adubos; melhora as condições físicas do solo e fornece as plantas o Ca e Mg. Para ilustrar a relação entre pH e disponibilidade relativa de elementos nutritivos, o autor utiliza o diagrama mostrado na figura 1.

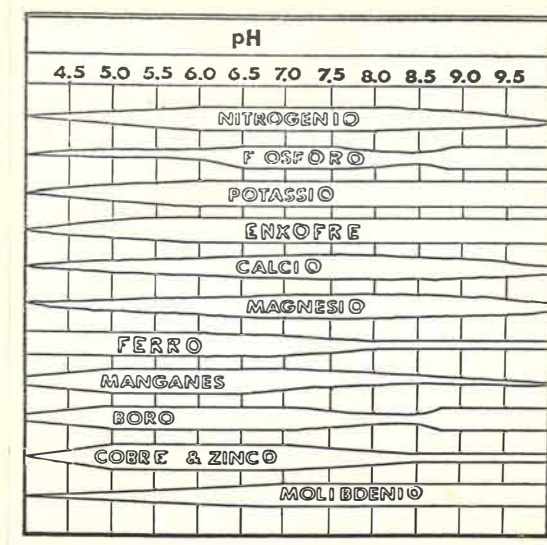


Fig. 1 - Disponibilidade relativa de nutrientes vegetais em vários níveis de pH. A largura da faixa indica a disponibilidade relativa.

GUIMARÃES (1958) menciona as seguintes especificações da ABNT - Associação Brasileira de Normas Técnicas e da Comissão de Compras da Secretaria da Fazenda do Estado de São Paulo, referindo-se ao calcário moído: diâmetro máximo das partículas igual a 2,4 mm, teor mínimo de 45% de CaO ou 80% de CaCO_3 para o calcário tipo A ou calcítico, teor mínimo de 10% de MgO e 40% de CaO + MgO para o calcário dolomítico ou tipo B. Quanto a granulometria regulamentam que 100% deve passar pela peneira de 10 malhas (2 mm), 50% deve passar pela peneira de 50 malhas (0,3 mm). Especificam, ainda, uma umidade menor do que 10%.

No relatório apresentado no Ministério da Agricultura e a Divisão de Agricultura e Desenvolvimento Rural da USAID (1964), consta o diagrama da figura 2, que mostra as exigências em pH para as principais culturas e o mapa da figura 3, indicando os lo-

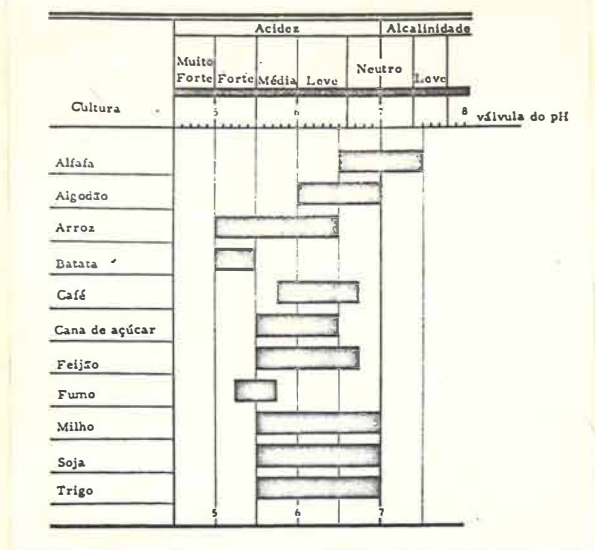


Fig. 2 - Mostra as exigências de pH das principais culturas no Brasil.



Fig. 3 - Ilustra através dos pontos os locais de depósitos de calcário existentes no Brasil.

cais dos depósitos de calcário no Brasil.

MEZZALIRA (1964), caracteriza geològicamente o calcário existente na região de Piracicaba e São Paulo como pertencente à Era Paleozóica, Período Permeano, representado pelo Grupo Estrada Nova e Formação Irati. É constituído de dolomitos, folhelhos pirobetuminosos, silicatos, fósseis de peixes, répteis, crustáceos e plantas coníferas. Atinge São Paulo, Paraná, Santa Catarina e Rio Grande do Sul, tendo uma espessura média de 3 metros, que é explorada com fins agrícolas.

Em face dessas informações fica demonstrada a importância de um programa de fomento da extração, moagem e aplicação de calcário no País.

3. MATERIAL E MÉTODOS

O material usado no presente trabalho abrange o calcário, a máquina distribuidora, o banco de prova e os equipamentos complementares. O calcário é caracterizado através de sua análise físico-química. Em relação à máquina distribuidora e o banco de prova, são descritos seus componentes importantes, além dos equipamentos complementares utilizados. Finalmente, é apresentada a metodologia adotada nos ensaios da máquina distribuidora.

3.1. Calcário

Neste trabalho utilizou-se cerca de 500 kg de calcário dolomítico, proveniente de jazida localizada no Município de Piracicaba - SP. As figuras 4 e 5 mostram aspectos da jazida e

da instalação de moagem.

A análise do calcário, realizada na Cadeira nº 2, de Química Agrícola, da E.S.A. "Luiz de Queiroz", utilizando-se o método por complexometria, apresentou os resultados mostrados na Tabela 3.1. Para isso foram retiradas 10 amostras parciais, de aproximadamente 100 g, da quantidade total utilizada, para compor uma amostra final com cerca de 1 kg.

Tabela 3.1. Resultados da Análise do Calcário.

Óxido de cálcio	26,3%
Óxido de magnésio	16,1%
Total de óxidos	42,4%
Carbonato de cálcio	46,8%
Carbonato de magnésio	33,9%
Silica e insolúveis	9,5%
Não determinados	9,1%
Umidade	0,8%

Análise granulométrica:

Peneiras	Retido (%)
10	0,8
20	20,7
40	19,2
60	12,9
80	7,2
100	4,7
Coletor	34,5

Observando-se os dados da Tabela 3.1 e comparando-os -- com as especificações de calcário moído fornecidos por GUIMARÃES (1958), verifica-se que o material utilizado no presente trabalho se enquadra no tipo B, segundo a normalização da ABNT - Associação Brasileira de Normas Técnicas.

3.2. Máquina Distribuidora

A máquina distribuidora de calcário empregada, doravante também designada simplesmente por máquina, é do tipo por gra-



Fig. 4 - Vista geral da jazida onde se obteve o calcário utilizado no presente trabalho.

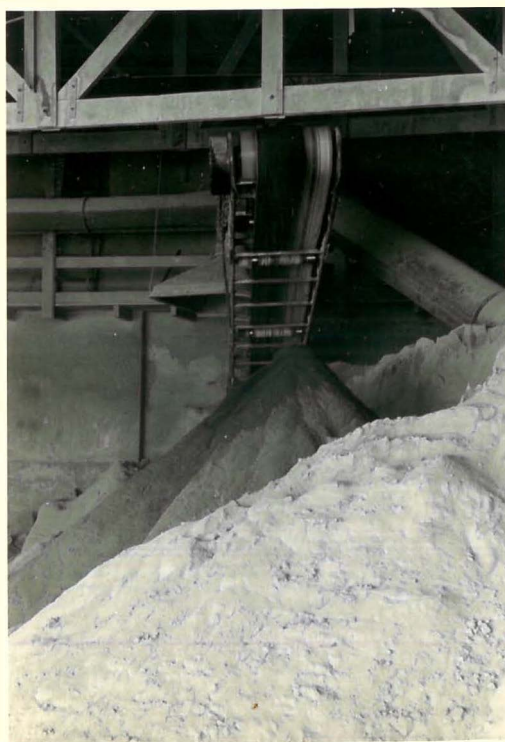


Fig. 5 - Vista parcial da instalação de moagem do calcário, mostrando em primeiro plano o produto em condições de utilização e, ao fundo, a correia transportadora de calcário recém-moido.

vidade, com distribuição em faixas, para montagem em carreta, como ilustra a figura 6. Suas principais características constam da Tabela 3.2.

Tabela 3.2. Características da Máquina Distribuidora de Calcário.

Fabricante	FNI-Fábr. Nac. de Impl. S.A.
Marca (*)	Sabre
Modelo (*)	20 - 1
Capacidade (*)	200 kg
Peso vazio (*)	120 kg

Dimensões do Reservatório:

.comprimento	2.000 mm
.largura no t ^o po	460 mm
.largura na base	160 mm
.altura	520 mm

Mecanismo Dosador:

.n ^o de agitadores	38
.diâmetro	35 mm
.n ^o de orifícios da calha	38
.diâmetro dos orifícios	22 mm
.diâmetro das rodas denta	
das movida e motora	120 mm
.n ^o de dentes das rodas mo	
vida e motora	8

(*) Segundo especificações de catálogo do fabricante.

Os componentes principais da máquina são:

- . reservatório ou depósito de calcário;
- . mecanismo de distribuição ou dosador;
- . suportes e transmissões.

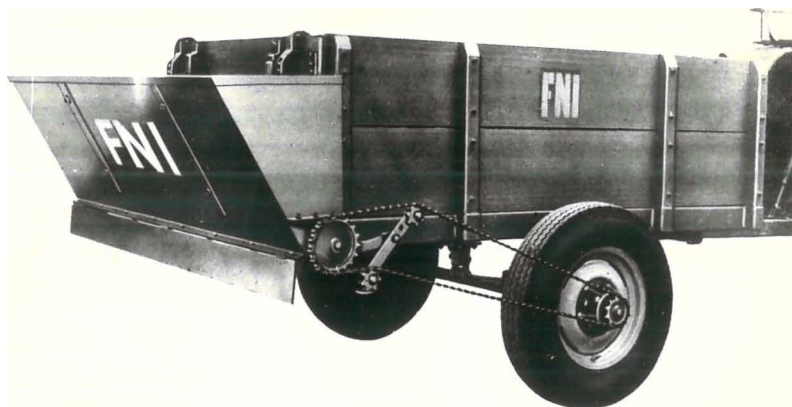


Fig. 6 - Vista lateral da máquina montada na carreta, mostrando o mecanismo de transmissão de movimento da roda à árvore agitadora.

O reservatório é construído por uma estrutura de ferro cantoneira de abas iguais, de 50 x 50 x 8 mm, recoberta por chapa de ferro nº 18. No fundo do reservatório acha-se instalado o mecanismo dosador, constituído por uma árvore de aço trefilado, provida de agitadores circulares, como ilustram as figuras 7 e 8. A árvore é montada sobre dois mancais de roletes, dispostos um em cada extremidade, e acionada pela roda da carreta através de uma transmissão por corrente.

Os discos agitadores, de 105 mm de diâmetro e construídos de chapa de ferro nº 14, apresentam aletas de 25 mm de largura, obtidas pelo recorte e dobramento de suas bordas. Estes são montados na árvore, distanciados de 55 mm um dos outros.

Abaixo da árvore dos agitadores, localiza-se uma calha, de formato semi-cilíndrico, como ilustra a figura 9. Ela apresenta orifícios circulares cujos centros são espaçados de 55 mm, distância que corresponde ao espaçamento entre discos agitadores adjacentes. Para regulagem da quantidade de calcário liberada

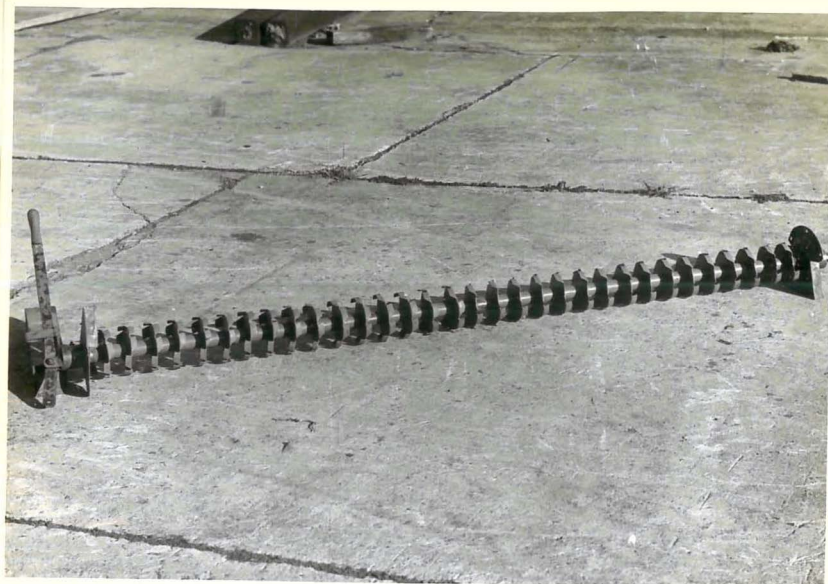


Fig. 7 - Aspecto da árvore com os agitadores e os mancais nas extremidades. Observar que os 19 discos agitadores à esquerda apresentam 8 aletas (N_2) e os restantes à direita, apenas 4 aletas (N_1).

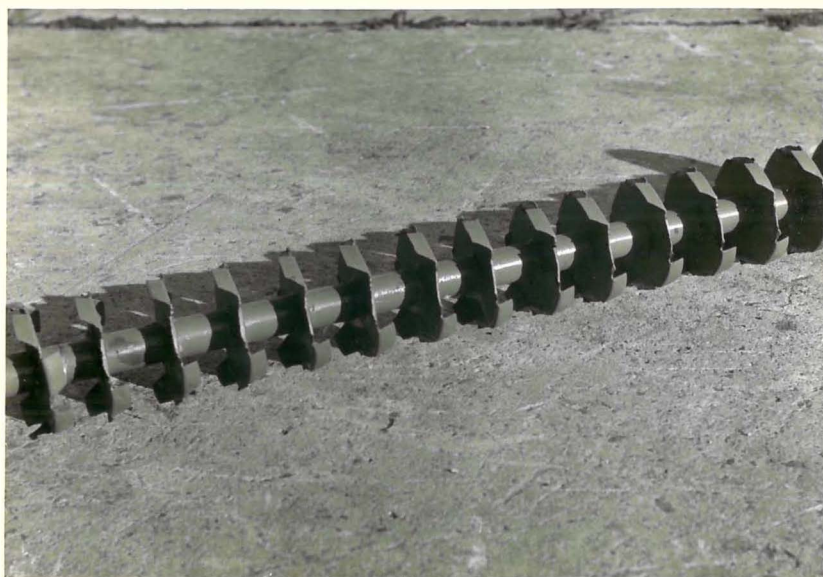


Fig. 8 - Agitadores com 4 aletas (N_1) obtidos pela supressão intercalada de 4 aletas, das 8 originalmente fornecidas com a máquina.

pela máquina, é acoplada no fundo da calha uma lingueta deslizante, com perfurações em número e dimensões idênticas às da calha. Sua movimentação é obtida através de uma alavanca de acionamento manual.



Fig. 9 - Vista da parte inferior da calha semi-cilíndrica, mostrando os orifícios de descarga e a lingueta deslizante reguladora da quantidade de calcário liberada pela máquina.

Para montagem da máquina na carreta são utilizados dois suportes de ferro chato, de 50 x 12 mm, em forma de "L". A haste vertical do suporte é parafusada na face anterior do reservatório e a haste horizontal, no fundo da carreta.

O acionamento da árvore agitadora é feito por uma das rodas da carreta, através de rodas dentadas e corrente. A roda dentada motora é fixa a um suporte, acoplado diretamente no cubo da roda, juntamente com o aro. A roda dentada movida, fixa à árvore agitadora, recebe movimento através de uma corrente com elos de 30 mm de comprimento e 20 mm de largura, segundo uma relação de transmissão de 1:1. A fim de manter a tensão da corrente, um esticador é disposto próximo à roda movida, como ilus-

tra a figura 6.

3.3. Banco de Prova

Utilizou-se neste trabalho um banco de prova construído pela Cadeira nº 15, de Mecânica, Motores e Máquinas, da E.S.A. "Luiz de Queiroz", para ensaios de máquinas em laboratório. É constituído por uma bancada de madeira, em cuja base se encontra instalado o mecanismo de acionamento da árvore de tomada-de-fôrça, com rotação mínima de 32 rpm e máxima de 190 rpm.

O mecanismo de acionamento é composto por uma caixa de mudança de marchas com 5 velocidades, sendo 4 num sentido e 1 em outro. Esta é acoplada, através de correia trapezoidal, a um motor elétrico trifásico de 2 HP a 1.700 rpm, com ligação triângulo, o que permite uma rápida e fácil inversão de seu sentido de rotação. O movimento da árvore de saída da caixa de mudança de marcha é transmitido à tomada-de-fôrça do banco por meio de correia trapezoidal, polias e engrenagens.

A transmissão de movimento do motor elétrico à árvore de tomada-de-fôrça do banco de prova se faz, em ambos os sentidos, com as seguintes relações de transmissão: 36:1, 18:1, 10:1, 5:1 e 41:1, respectivamente de acordo com as marchas 1ª, 2ª, 3ª, 4ª e Ré.

3.4. Equipamentos Complementares

Durante os ensaios, além do banco de provas, utilizaram-se conta-giros e cronômetro elétricos, instalados segundo mostra a figura 10. Ambos são comandados por dois interruptores, um acionado manualmente em sincronia com a chave do motor do banco de prova e outro, acionado por um ressalto da extremidade da árvore agitadora da máquina.

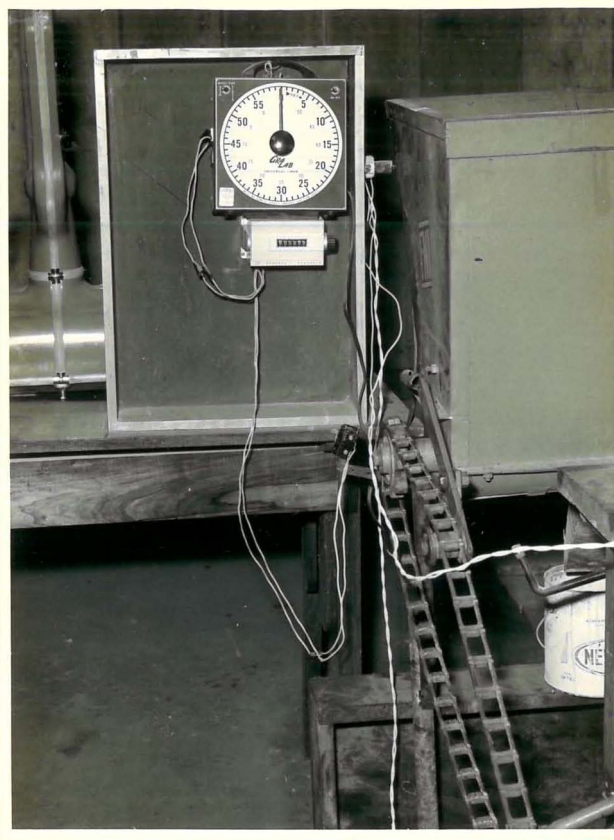


Fig. 10 - Vista da instalação do conta-giros e cronômetro elétricos.

Para determinar-se a quantidade de calcário liberada pela máquina, empregou-se um conjunto de calhas e latas coletoras, dispostas da maneira como ilustra a figura 11. As especificações da balança empregada são:

. marca	Toledo - USA
. capacidade	5 kg
. subdivisão da escala	0,001 kg
. limites da escala	0 - 0,5 kg

3.5. Método de Ensaio

Desde que o desempenho funcional das máquinas distribui

doras de calcário depende:

- da quantidade (Q) de produto liberado pelo mecanismo dosador num determinado tempo,
- da velocidade (V) de deslocamento da máquina no campo e
- da largura (L) da faixa de distribuição ou deposição do calcário,

A dosagem de aplicação (D), em termos de quantidade de calcário distribuído por unidade de área, poderá ser expressa pela equação:

$$D = \frac{Q}{L \cdot V}$$

De acordo com indicações da literatura, um desempenho funcional ótimo para distribuidores de calcário é obtido quando o valor de D se mantém constante a um nível pré-estabelecido através da análise do pH do solo.

Na máquina em estudo, a largura da faixa de deposição (L) é constante e, mantendo-se constante V, as variações de D dependem diretamente das variações de Q. Logo, a capacidade do mecanismo dosador distribuir uniformemente o calcário, isto é, - manter D constante, poderá ser verificada determinando-se as quantidades de produto liberado em diferentes pontos ao longo da faixa de deposição e ao longo do percurso, real ou simulado, da máquina no campo.

As variações de Q são determinadas por fatores associados às características físico-mecânicas do calcário empregado, às condições da superfície do terreno e ao tipo de mecanismo dosador considerado. A fim de serem eliminados os efeitos dos fatores associados às características do material e às condições de superfície, utilizaram-se nos ensaios o mesmo material e o banco de prova, respectivamente. Nessas condições, os ensaios do mecanismo dosador foram efetuados levando-se em conta o efeito das variáveis: a) número de aletas dos discos agitadores (N), b)

sentido de rotação (S) e velocidade angular da árvore dos agitadores (R), sobre Q.

Determinações sucessivas de Q, para um conjunto constante de regulagens, simulam determinações ao longo do percurso da máquina no campo. Igualmente, determinações de Q em pontos equidistantes da faixa de deposição, permitem verificar sua variação ao longo de L.



Fig. 11 - Vista posterior do conjunto experimental mostrando as 8 calhas e respectivas latas coletoras. O grupo de 4 calhas à esquerda corresponde aos agitadores N_1 e o grupo à direita, aos agitadores N_2 .

Nos ensaios da máquina, as seguintes variáveis foram consideradas:

- . número de aletas dos discos agitadores, designado por N_1 (4 aletas) e N_2 (8 aletas);

- sentido de rotação dos discos agitadores, designado por S_1 (horário) e S_2 (anti-horário);
- velocidade angular da árvore agitadora, designada por R_1 (24 rpm), R_2 (51 rpm) e R_3 (90 rpm).

A variação do número de aletas dos discos agitadores - foi obtida pela supressão intercalada de 4 aletas de cada disco, das 8 originalmente fornecidas com a máquina, como ilustra a figura 8. Assim, dos 38 discos agitadores da árvore, metade foi mantida com 8 aletas e o restante com 4, como é mostrado na figura 7.

Quanto ao sentido de rotação, as designações S_1 - horário e S_2 - anti-horário, são tomadas considerando que se observe de frente a roda dentada movida da árvore agitadora e sua movimentação se faça a favor ou contra o sentido do movimento dos ponteiros do relógio, respectivamente.

O reservatório foi dividido em duas partes, através de uma chapa metálica, incluindo cada uma a metade da árvore agitadora provida de discos com mesmo número de aletas. A determinação de Q ao longo de L foi realizada dispondo-se calhas e latas coletoras, abrangendo cada uma 3 orifícios de descarga, num total de 12 orifícios para cada parte da máquina, como ilustra a figura 11. Os orifícios de descarga próximos das extremidades foram desprezados. A lingueta deslizante, para todos os ensaios, foi mantida na posição que permitia descarga máxima da máquina.

Colocando-se o distribuidor em funcionamento, o tempo e o número de rotações do agitador foram determinados através do cronômetro e conta-giros elétricos, respectivamente. Após um intervalo de 20 segundos, interrompia-se o funcionamento da máquina, pesando-se as quantidades de material recolhido em cada uma das latas. Para todos os ensaios, a altura do calcário dentro do reservatório foi mantida constante, ao nível de 45 cm.

Estabelecidas as características da máquina para um dado ensaio, especificado através dos índices de F, S e R, obtiveram-se 16 dados de Q, parciais, correspondentes às quantidades de calcário coletadas em 20 segundos, em 4 calhas e em 4 repetições. Os dados de Q parciais obtidos nas calhas coletoras representam as quantidades de calcário liberadas em pontos equidistantes da faixa de deposição (L). As repetições, simulam Q parciais obtidos ao longo do percurso da máquina no campo.

O planejamento estatístico dos ensaios envolve um esquema fatorial de $2 \times 2 \times 3$, num delineamento em blocos casualizados, com 4 repetições. A análise dos resultados obtidos, conduzida de acordo com os métodos recomendados por PIMENTEL GOMES (1966), inclui além das análises de variância, a comparação das médias dos tratamentos através do teste de Tukey, ao nível de 5% de probabilidade.

4. RESULTADOS OBTIDOS E DISCUSSÃO

Os resultados obtidos no desenvolvimento d'êste trabalho abrangem os dados provenientes dos ensaios da máquina e sua análise. Ainda, são discutidos, independentemente, os resultados da análise estatística dos dados obtidos, quanto à homogeneidade de distribuição ao longo da faixa de deposição e do deslocamento simulado da máquina.

Os dados originalmente obtidos constam das tabelas numeradas de 1 a 12, no Apêndice. A partir d'êsses dados, para efeito de análise do comportamento do mecanismo dosador ao longo da faixa de deposição e de deslocamento simulado, elaboraram-se as Tabelas 4.1 e 4.2, respectivamente.

Tabela 4.1. Quantidade de calcário liberada em 80 segundos, por calha coletora e em cada ensaio.

Ensaio (*)	1ª Calha (kg)	2ª Calha (kg)	3ª Calha (kg)	4ª Calha (kg)
N ₁ R ₁ S ₁	6,43	6,55	7,35	7,59
N ₁ R ₁ S ₂	5,86	5,74	6,52	5,66
N ₁ R ₂ S ₁	9,88	9,99	9,97	10,82
N ₁ R ₂ S ₂	8,21	7,38	8,86	7,83
N ₁ R ₃ S ₁	15,75	15,61	14,25	15,22
N ₁ R ₃ S ₂	11,59	10,67	11,09	10,72
N ₂ R ₁ S ₁	7,32	9,48	9,51	8,65
N ₂ R ₁ S ₂	6,43	7,43	8,15	6,46
N ₂ R ₂ S ₁	8,73	12,12	11,21	9,25
N ₂ R ₂ S ₂	8,93	10,00	8,98	8,06
N ₂ R ₃ S ₁	10,61	19,37	15,19	12,41
N ₂ R ₃ S ₂	12,83	14,06	12,72	10,95

(*) A designação dos ensaios é feita segundo indicações apresentadas em 3.5, à página 19.

Com os dados obtidos, de conformidade com a Tabela 4.1, foi feita a análise de variância, chegando-se ao resultado que se segue:

Causa de Variação	G.L.	Soma dos Quadrados	Quadrado Médio	F
Calhas (K)	3	14,9047	4,9682	5,1893 **
Nº de aletas (N)	1	7,9470	7,9470	8,3006 **
Rotações (R)	2	306,1133	153,0566	159,8669 **
Sentidos (S)	1	47,8200	47,8200	49,9478 **
N x R	2	2,5777	1,2888	1,3461
N x S	1	2,1719	2,1719	2,2685
R x S	2	5,6987	2,8493	2,9761
N x K	3	21,0553	7,0184	7,3307 **
R x K	6	7,7820	1,2970	1,3547
S x K	3	7,5863	2,5287	2,6412
Resíduo	23	22,0194	0,9574	---
Total	47	445,6763	---	---

Obs.: A significância para 5% e 1% de probabilidade do teste F é indicada, respectivamente, por um (*) e dois (**) asteriscos.

Conforme se pode observar, houve um efeito significativo ao nível de 1% de probabilidade para os seguintes componentes: K, N, R, S e interação N x K. Em decorrência do efeito significativo para N x K, foi feito um desdobramento no número de graus de liberdade, conforme o esquema abaixo:

Causa de Variação	G.L.	Soma dos Quadrados	Quadrado Médio	F
K d. N ₁	3	0,4307	0,1436	0,0149
K d. N ₂	3	35,5296	11,8432	12,3702 **
Resíduo	23	22,0194	0,9574	---

Verifica-se que houve um efeito significativo, ao nível de 1% de probabilidade, para K d. N₂. As médias e seus respectivos erros padrões são:

Médias

$N_1 = 9,55$	$S_1 = 4,92$	$R_1 = 7,19$
$N_2 = 10,36$	$S_2 = 3,94$	$R_2 = 9,38$
$s(\hat{m}) = 0,58$	$s(\hat{m}) = 0,20$	$R_3 = 13,30$
		$s(\hat{m}) = 0,24$

$K_1 \text{ d. } N_1 = 9,62$	$K_1 \text{ d. } N_2 = 9,14$	
$K_2 \text{ d. } N_1 = 9,32$	$K_2 \text{ d. } N_2 = 12,08$	
$K_3 \text{ d. } N_1 = 9,64$	$K_3 \text{ d. } N_2 = 10,96$	$s(\hat{m}) = 0,40$
$K_4 \text{ d. } N_1 = 9,64$	$K_4 \text{ d. } N_2 = 9,30$	

As diferenças mínimas significativas, calculadas pelo teste de Tukey ao nível de 5% de probabilidade, para (N), (S), (R) e (K d. N), são as seguintes:

$$\Delta_N = 0,58 \quad \Delta_S = 0,58 \quad \Delta_R = 0,85 \quad \Delta_K = 1,57$$

A análise estatística dos dados obtidos nos ensaios da máquina, evidenciou que:

- há uma diferença de comportamento do mecanismo dosador, em termos de quantidade de calcário liberado em cada calha ao longo da faixa de deposição, conforme a significância de F, ao nível de 1% de probabilidade, para K;
- os fatores N, S e R agem isoladamente sobre a quantidade de calcário liberada em cada calha, de acordo com a significância de F para esses fatores e a não significância para suas interações;
- o comportamento do mecanismo dosador, em termos de

- variação na quantidade de calcário liberado ao longo da faixa de deposição, é afetado pela ação conjunta de N e K, como indica a significância de F para a interação N x K;
- apenas para N₂, a variação de K afeta o comportamento do mecanismo dosador, conforme a significância da interação K d. N₂, obtida pelo desdobramento dos graus de liberdade de N x K;
- a maior quantidade de calcário liberada se obtém com S₁ e com a passagem de R₁ para R₃, tendo-se em vista as diferenças mínimas significativas entre médias para esses fatores.

Tabela 4.2. Quantidade de calcário liberada em 20 segundos pelo mecanismo dosador em cada bloco (*) em cada ensaio.

Ensaio (**)	1º Bloco (kg)	2º Bloco (kg)	3º Bloco (kg)	4º Bloco (kg)
N ₁ R ₁ S ₁	6,95	6,89	6,70	7,39
N ₁ R ₁ S ₂	5,79	6,12	6,02	5,85
N ₁ R ₂ S ₂	10,57	9,96	9,96	10,18
N ₁ R ₂ S ₂	8,59	7,91	8,22	7,55
N ₁ R ₃ S ₁	14,51	15,31	15,87	14,92
N ₁ R ₃ S ₂	11,29	11,05	11,63	10,10
N ₂ R ₁ S ₁	9,40	9,71	7,42	8,43
N ₂ R ₁ S ₂	7,27	7,08	7,00	7,13
N ₂ R ₂ S ₁	11,26	10,45	9,74	9,85
N ₂ R ₂ S ₂	9,20	8,85	9,08	8,84
N ₂ R ₃ S ₁	14,16	14,43	15,00	13,99
N ₂ R ₃ S ₂	13,39	11,53	13,49	12,15

(*) Doravante, neste trabalho, designar-se-á como blocos a quantidade total de calcário liberado pelas 4 calhas, em cada repetição.

(**) A designação dos ensaios é feita segundo indicações apresentadas em 3.5, à página 19.

A análise de variância dos dados mostrados na Tabela 4.2 apresentou os seguintes resultados:

Causa de Variação	G.L.	Soma dos Quadrados	Quadrado Médio	F	..
BLOCOS (B)	3	1,5445	0,5148	1,3898	
Nº de aletas (N)	1	7,9470	7,9470	21,4552	**
Rotações (R)	2	306,0256	153,0128	413,1015	**
Sentidos (S)	1	47,8200	47,8200	129,1037	**
N x R	2	2,5774	1,2887	3,4792	*
N x S	1	2,1890	2,1890	5,9098	*
R x S	2	5,6984	2,8492	7,6922	**
N x B	3	0,5855	0,19552	0,5269	
R x B	6	4,1799	0,6966	1,8807	
S x B	3	1,1815	0,3938	1,0631	
Resíduo	23	8,5199	0,3704	---	
Total	47	388,2687	---	---	

Obs.: A significância para 5% e 1% de probabilidade do teste F é indicada, respectivamente, por um (*) e dois (**) asteriscos.

Da análise de variância pode-se observar que houve um efeito significativo, ao nível de 1% de probabilidade, para os seguintes componentes: (N), (R), (S) e (R x S). Para as interações (N x R) e (N x S) houve uma significância ao nível de 5% de probabilidade. Em decorrência desse efeito significativo para as interações, foi feito um desdobramento do número de graus de liberdade, de acordo com o seguinte esquema:

Causa de Variação	G.L.	Soma dos Quadrados	Quadrado Médio	F
N d. R_1	1	8,5996	8,5996	23,2171 **
N d. R_2	1	1,1765	1,1765	3,3576
N d. R_3	1	0,7480	0,7480	2,0205
Resíduo	23	8,5199	0,3704	
N d. N_1	2	177,6734	88,8367	239,8399 **
R d. N_2	2	130,9296	65,4648	176,7408 **
Resíduo	23	8,5199	0,3704	
S d. N_1	1	35,2352	35,2352	92,1274 **
S d. N_2	1	14,7736	14,7736	39,8855 **
Resíduo	23	8,5199	0,3704	
R d. S_1	2	197,2646	98,6323	266,2859 **
R d. S_2	2	144,4585	57,2292	154,5065 **
Resíduo	23	8,5199	0,3704	
S d. R_1	1	7,0623	7,0623	19,0667 **
S d. R_2	1	11,7645	11,7645	31,7616 **
S d. R_3	1	34,6920	34,6920	93,6609 **
Resíduo	23	8,5199	0,3704	

Obs.: A significância para 5% e 1% de probabilidade do teste F é indicada, respectivamente, por um (*) e dois (**) asteriscos.

As médias de (N), (R) e (S) e seus respectivos erros padrões são:

$$\begin{array}{lll}
 N_1 = 9,55 & R_1 = 7,19 & S_1 = 10,96 \\
 N_2 = 10,36 & R_2 = 9,38 & S_2 = 8,92 \\
 s(\hat{m}) = 0,20 & R_3 = 13,30 & s(\hat{m}) = 0,20 \\
 & s(\hat{m}) = 0,24 &
 \end{array}$$

As diferenças mínimas significativas, calculadas pelo teste de Tukey ao nível de 5% de probabilidade, para (N), (R) e (S) são:

$$\triangle N = 0,58 \quad \triangle R = 0,85 \quad \triangle S = 0,58$$

Para as interações, as médias, seus erros padrões e respectivas diferenças mínimas significativas - DSM (teste de Tukey a 5% de probabilidade) são:

MÉDIAS

$$\begin{aligned} N_1 \text{ d. } R_1 &= 6,46 \\ N_1 \text{ d. } R_2 &= 9,12 \\ N_1 \text{ d. } R_3 &= 13,08 \\ N_2 \text{ d. } R_1 &= 7,93 \\ N_2 \text{ d. } R_2 &= 9,66 \\ N_2 \text{ d. } R_3 &= 13,52 \\ s(\hat{m}) &= 0,34 \\ \text{DMS} &= 1,20 \end{aligned}$$

$$\begin{aligned} S_1 \text{ d. } R_1 &= 7,86 \\ S_1 \text{ d. } R_2 &= 10,24 \\ S_1 \text{ d. } R_3 &= 14,77 \\ S_2 \text{ d. } R_1 &= 6,53 \\ S_2 \text{ d. } R_2 &= 8,53 \\ S_2 \text{ d. } R_3 &= 11,83 \\ s(\hat{m}) &= 0,34 \\ \text{DMS} &= 1,20 \end{aligned}$$

$$\begin{aligned} N_1 \text{ d. } S_1 &= 10,77 \\ N_1 \text{ d. } S_2 &= 8,34 \\ N_2 \text{ d. } S_1 &= 11,15 \\ N_2 \text{ d. } S_2 &= 9,58 \\ s(\hat{m}) &= 0,28 \\ \text{DMS} &= 0,82 \end{aligned}$$

$$\begin{aligned} R_1 \text{ d. } N_1 &= 6,46 \\ R_1 \text{ d. } N_2 &= 7,93 \\ R_2 \text{ d. } N_1 &= 9,12 \\ R_2 \text{ d. } N_2 &= 9,16 \\ R_3 \text{ d. } N_1 &= 13,08 \\ R_3 \text{ d. } N_2 &= 13,52 \\ s(\hat{m}) &= 0,34 \\ \text{DMS} &= 0,99 \end{aligned}$$

$$\begin{aligned} R_1 \text{ d. } S_1 &= 7,86 \\ R_1 \text{ d. } S_2 &= 6,53 \\ R_2 \text{ d. } S_1 &= 10,24 \\ R_2 \text{ d. } S_2 &= 8,53 \\ R_3 \text{ d. } S_1 &= 14,77 \\ R_3 \text{ d. } S_2 &= 11,83 \\ s(\hat{m}) &= 0,34 \\ \text{DMS} &= 0,99 \end{aligned}$$

$$\begin{aligned} S_1 \text{ d. } N_1 &= 10,77 \\ S_1 \text{ d. } N_2 &= 11,15 \\ S_2 \text{ d. } N_1 &= 8,34 \\ S_2 \text{ d. } N_2 &= 9,58 \\ s(\hat{m}) &= 0,28 \\ \text{DMS} &= 0,82 \end{aligned}$$

A análise estatística dos dados obtidos nos ensaios da máquina, visando estudar o comportamento do mecanismo dosador ao longo do deslocamento simulado da máquina, evidencia:

- uma igualdade no comportamento do mecanismo dosador, em termos de quantidade de calcário liberado ao longo do percurso simulado, de acordo com a não significância de F para blocos;
- que os fatores N, R e S agem conjuntamente sobre a quantidade de calcário liberada pela máquina, como indica a significância de F para suas interações;
- que apenas para R_1 , a variação de N afeta o comportamento do mecanismo dosador, obtendo-se a maior quantidade de calcário liberado com N_2 , conforme a significância da interação N d. R_1 , obtida pelo desdobramento dos graus de liberdade e a comparação das respectivas médias;
- que tanto para N_1 como para N_2 , a variação de R afeta o comportamento do mecanismo dosador, como mostra a significância das interações R d. N_1 e R d. N_2 ; a comparação das respectivas médias indica que a passagem de R_1 para R_3 aumenta a quantidade de calcário liberada;
- que apenas para S_2 a variação de N afeta o comportamento do mecanismo dosador, como mostra a significância da interação N d. S_2 , obtida pelo desdobramento dos graus de liberdade de F x S; a comparação das respectivas médias indica que a maior quantidade de calcário liberado se obtém com N_2 ;
- que tanto para N_1 como para N_2 , a variação de S afeta o comportamento do mecanismo dosador, como evidencia a significância das interações S d. N_1 e S d. N_2 ; a comparação das respectivas médias indica que a menor quantidade de calcário liberado se obtém com S_2 ;
- que tanto para S_1 como para S_2 , a variação de R afeta o comportamento do mecanismo dosador, de acordo com a significância das interações R d. S_1 e R d. S_2 ; a comparação das respecti-

- as médias indicam que a passagem de R_1 para R_3 aumenta a quantidade de calcário liberado;
- que a passagem de S_1 para S_2 afeta o comportamento do mecanismo dosador, reduzindo a quantidade de calcário liberada, como indicam a significância das interações S d. R_1 , S d. R_2 , S d. R_3 e a comparação das respectivas médias.

5. CONCLUSÕES

A análise e discussão dos resultados obtidos nos ensaios da máquina distribuidora de calcário em estudo conduzem às seguintes conclusões:

- 5.1. A distribuição de calcário ao longo da faixa de deposição não é homogênea. Os elementos constituintes do mecanismo dosador, embora idênticos para cada calha coletora, não apresentaram o mesmo comportamento funcional. Evidenciou-se que o fator responsável por essa não reproductibilidade de comportamento é o número de aletas dos discos agitadores. Com menor número de aletas obtém-se maior uniformidade de aplicação, na largura da faixa de deposição.

- 5.2. A quantidade total de calcário liberada pelo mecanismo dosador é afetada, por ordem de importância, pela velocidade angular, sentido de rotação e número de aletas dos discos agitadores. A maior quantidade de calcário liberada para as condições dos ensaios, se obtém com 90 rpm, no sentido horário e 8 aletas dos discos agitadores.
- 5.3. Desde que a quantidade de calcário liberada pelo mecanismo dosador poderá ser regulada pela lingueta deslizante, sugere-se, para melhoria do desempenho funcional da máquina, uma redução no número de aletas dos discos e um aumento da rpm da árvore agitadora, pela mudança da relação de transmissão entre esta e a roda da carreta.
- 5.4. Da maneira como a máquina é instalada (Fig. 9), observa-se que o sentido de rotação horário da árvore agitadora, além de proporcionar a liberação de maior quantidade de calcário, facilita a construção das transmissões pois não existe inversão do movimento da roda da carreta. Com isso, torna-se possível a confecção de suportes padronizados para acoplamento da roda denteada motora dos aros comumente utilizados em carretas agrícolas, evitando assim os problemas de versatilidade levantados por WOOLEY (1928).
- 5.5. A utilização de um banco de prova, eliminando-se os efeitos da superfície do terreno, como observado por KLINNER (1967), sobre o mecanismo dosador, permite concluir que as variáveis consideradas não alteram a distribuição ao longo do deslocamento simu

lado da máquina, que se manteve homogênea em cada ensaio. Para as 4 repetições (blocos) de um mesmo ensaio, observou-se sempre uma perfeita reprodutibilidade de comportamento do mecanismo dosador.

5.6. A análise do comportamento do mecanismo dosador ao longo do percurso simulado da máquina, confirma a conclusão obtida através da análise de seu comportamento ao longo da faixa de deposição em relação à quantidade total de calcário liberada. As variáveis estudadas agem conjuntamente, verificando-se através de suas interações, o seguinte:

- com rotações elevadas (R_2 e R_3) do ponto de vista da quantidade de calcário liberada é indiferente utilizar-se 4 ou 8 aletas nos discos agitadores;
- o aumento de rotação (de R_1 para R_3) provoca para um mesmo número de aletas nos discos agitadores, um incremento na quantidade de calcário liberada;
- com sentido horário (S_1), do ponto de vista da quantidade de calcário liberada, é indiferente utilizar-se 4 ou 8 aletas nos discos agitadores;
- a mudança de sentido de rotação de S_2 (anti horário) para S_1 (horário), provoca, para um mesmo número de aletas nos discos agitadores, um incremento na quantidade de calcário liberada;
- o aumento de rotação (de R_1 para R_3) provoca, tanto para S_1 como para S_2 , um aumento na quantidade de calcário liberada.

6. RESUMO

No presente trabalho estudou-se o mecanismo dosador de uma distribuidora de calcário, visando determinar a influência dos seguintes componentes: número de aletas do agitador (N), sentido de rotação (S) e, velocidade angular da árvore dos agitadores (R), na uniformidade de distribuição.

Para êste fim utilizou-se uma máquina distribuidora de calcário, fabricada pela FNI, Fábrica Nacional de Implementos S.A., marca Sabre, Modelo 20-1. Esta foi instalada em um banco de prova, construído na 15ª Cadeira de Mecânica, Motores e Máquinas da E.S.A. "Luiz de Queiroz", da Universidade de São Paulo, e submetida a ensaios visando estudar-se a uniformidade de distribuição ao longo da faixa de deposição e ao longo de percurso simulado da máquina no campo.

O esquema de análise estatística envolve um fatorial $2 \times 2 \times 3$ com 4 repetições. As variáveis consideradas em cada

tratamento foram: a) dois tipos de discos agitadores, um com 4 aletas (N_1) e outro com 8 aletas (N_2); b) dois sentidos de rotação da árvore agitadora, horário (S_1) e anti-horário (S_2); c) três níveis de rotação para a árvore dos agitadores (R_1 , R_2 e R_3).

Os resultados obtidos nos ensaios da máquina indicam que não houve identidade no comportamento do mecanismo dosador ao longo da faixa de deposição. Evidenciou-se que o fator responsável por essa diferença de comportamento é o número de aletas dos discos agitadores. Observou-se ao longo do percurso simulado - da máquina uma identidade de comportamento, não sendo verificadas diferenças significativas entre as repetições de um mesmo ensaio.

Em relação à quantidade total de calcário liberada pela máquina, a rotação da árvore agitadora constitui o principal fator a ser considerado.

7. SUMMARY

In this research we tried to examine the factors affecting the rate of delivery of the metering mechanism of a time broadcast spreader, manufactured by FNI (Fábrica Nacional de Implementos S.A.).

The tests were achieved in a laboratory test device, and the following variables were considered under each treatment : a) two types of agitador disks, being one with four blades (N_1), and another with eight blades (N_2); b) two rotation directions, namely, one clockwise directions (S_1), and another counterclockwise direction (S_2); c) three levels of rotation of the agitador, to wit, R_1 , R_2 and R_3 .

The results obtained with the tests have shown that there had been no identification in the performance of the metering mechanism, through the width. It has been also evident that the difference of performance was caused by the number of blades

of the agitador disks.

The displacement of the machine showed a similar performance, without significant differences as far as the repetitions of one test were concerned.

8. BIBLIOGRAFIA CITADA

- CATANI, R.A. & GALLO, J.R. (1955). Avaliação da exigência em cálcio dos solos do Estado de São Paulo, mediante correlação entre pH e a percentagem de saturação em bases, Rev.Agric. (Piracicaba). 30:49-60.
- CONTI, M. (1913). Mecânica Agrícola, Companhia Editorial S.A. México. 450 pp.
- GUIMARÃES, J.E.P. (1958). Problemas Técnicos e Econômicos da Indústria e do Consumo de corretivos de acidez no Estado de São Paulo. Secretaria do Est. dos Negócios da Agricultura. Diretoria de Publicidade Agrícola, São Paulo.
- KLINER, W.E. (1967). Test. Reporter of John Deere LF 12 fertilizing machine. National Institute of Agricultural Engineering nº 565. Silsoe England. 10 pp.

- MALAVOLTA, E. (1959). Manual de Química Agrícola. Editôra Ceres, São Paulo. 487 pp.
- MEZZALIRA, S. (1964). Geologia do Estado de São Paulo. Instituto Geográfico e Geológico. Bol. nº 41.
- PASSELEGUE, G. (1963). Les Tracteurs et les Machines de Culture. Librairie Machette, Paris. 394 pp.
- USAID - BRASIL (1964). Estudo Técnico-Econômico Sobre a Exequibilidade de Aumento na Fabricação e Uso de Fertilizantes. Calcário e Sais Minerais no Brasil. Relatório Apresentado ao Ministério da Agricultura e a Divisão de Agricultura e Desenvolvimento Rural. 303 pp.
- PIMENTEL GOMES, F. (1966). Curso de Estatística Experimental. E.S.A. "Luiz de Queiroz", Univ. São Paulo, Piracicaba. 404 pp.
- RICHEY, C.B. (1961). Coop - Production Equipment Fertilizing and liming machines. 160 - 171. Agricultural Engineers - Handbook. McGraw Hill Book Co., Inc. N.Y. 880 pp.
- SMITH, H.P. (1964). Farm Machinery and Equipamente. McGraw Hill Book Co., New York, USA. 519 pp.
- STONE, A.A. & GULVIN, H.E. (1961). Maquinaria Agrícola, Companhia Editorial S.A., México. 450 pp.
- WOOLEY, J.C. (1928). A home made lime spreader. Journal of the American Society of Agricultural Engineers. 9(10). 44.

A P Ê N D I C E

Este apêndice fornece os dados originalmente obtidos nos ensaios de laboratório da máquina distribuidora, em termos de **quantidade** (kg) de calcário coletada, em 4 calhas e em 4 repetições.

Tabela 1. Ensaio $N_1 R_1 S_1$
C A L H A S

Repetições	1ª	2ª	3ª	4ª	Total (*)
1ª	1,545	1,640	1,875	1,895	6,95
2ª	1,585	1,650	1,790	1,865	6,89
3ª	1,540	1,550	1,800	1,815	6,70
4ª	1,765	1,715	1,890	2,020	7,39
Total (*)	6,43	6,55	7,35	7,59	

Tabela 2. Ensaio $N_1 R_2 S_1$
C A L H A S

Repetições	1ª	2ª	3ª	4ª	Total (*)
1ª	2,520	2,570	2,615	2,865	10,57
2ª	2,345	2,485	2,445	2,885	9,96
3ª	2,460	2,450	2,430	2,625	9,96
4ª	2,555	2,490	2,485	2,650	10,18
Total (*)	9,98	9,99	9,97	10,82	

Tabela 3. Ensaio $N_1 R_3 S_1$
C A L H A S

Repetições	1ª	2ª	3ª	4ª	Total (*)
1ª	3,645	3,725	3,440	3,700	14,51
2ª	3,830	3,925	3,695	3,860	15,31
3ª	4,310	4,010	3,545	4,010	15,87
4ª	3,915	3,950	3,375	3,635	14,92
Total (*)	15,75	15,61	14,05	15,20	

(*) O critério de arredondamento adotado é inferior ao erro de 1%.

Tabela 4. Ensaio $N_2 R_1 S_1$
C A L H A S

Repetições	1ª	2ª	3ª	4ª	Total (*)
1ª	2,115	2,335	2,435	2,515	9,40
2ª	2,240	2,395	2,465	2,615	9,71
3ª	1,400	2,205	2,175	1,640	7,42
4ª	1,570	2,550	2,435	1,880	8,43
Total (*)	7,32	9,48	9,51	8,65	

Tabela 5. Ensaio $N_2 R_2 S_1$
C A L H A S

Repetições	1ª	2ª	3ª	4ª	Total (*)
1ª	2,715	3,065	2,830	2,650	11,26
2ª	2,305	3,050	2,690	2,410	10,45
3ª	1,850	2,980	2,850	2,065	9,74
4ª	1,865	3,025	2,840	2,125	9,85
Total (*)	8,73	12,12	11,21	9,25	

Tabela 6. Ensaio $N_2 R_3 S_1$
C A L H A S

Repetições	1ª	2ª	3ª	4ª	Total (*)
1ª	2,780	4,675	3,725	2,985	14,16
2ª	2,840	4,800	3,735	3,060	14,43
3ª	2,695	4,990	4,100	3,215	15,00
4ª	2,300	4,905	3,635	3,155	13,99
Total (*)	10,61	19,37	15,19	12,41	

(*) O critério de arredondamento adotado é inferior ao erro de 1%.

Tabela 7. Ensaio $N_1 R_1 S_2$

C A L H A S

Repetições	1ª	2ª	3ª	4ª	Total
1ª	1,490	1,425	1,595	1,280	5,79
2ª	1,510	1,505	1,775	1,330	6,12
3ª	1,465	1,380	1,585	1,590	6,02
4ª	1,400	1,430	1,565	1,460	5,85
Total	5,86	5,74	6,52	5,66	

Tabela 8. Ensaio $N_1 R_2 S_2$

C A L H A S

Repetições	1ª	2ª	3ª	4ª	Total
1ª	2,200	1,985	2,535	1,875	8,59
2ª	2,010	1,840	2,305	1,760	7,91
3ª	2,075	1,920	2,075	2,155	8,22
4ª	1,930	1,635	1,945	2,040	7,55
Total	8,21	7,38	8,86	7,83	

Tabela 9. Ensaio $N_1 R_3 S_2$

C A L H A S

Repetições	1ª	2ª	3ª	4ª	Total
1ª	3,070	2,785	3,030	2,410	11,29
2ª	2,850	2,725	2,775	2,700	11,05
3ª	3,030	2,755	2,825	3,020	11,63
4ª	2,640	2,405	2,465	2,590	10,10
Total	11,59	10,67	11,09	10,72	

Tabela 10. Ensaio $N_2 R_1 S_2$

C A L H A S

Repetições	1ª	2ª	3ª	4ª	Total
1ª	1,630	1,970	2,095	1,575	7,27
2ª	1,590	2,035	2,050	1,410	7,08
3ª	1,600	1,700	1,910	1,790	7,00
4ª	1,610	1,725	2,100	1,690	7,13
Total	6,43	7,43	8,15	6,46	

Tabela 11. Ensaio $N_2 R_2 S_2$

C A L H A S

Repetições	1ª	2ª	3ª	4ª	Total
1ª	2,185	2,735	2,425	1,860	9,20
2ª	2,280	2,585	2,230	1,755	8,85
3ª	2,250	2,355	2,205	2,270	9,08
4ª	2,220	2,325	2,120	2,180	8,84
Total	8,93	10,00	8,98	8,06	

Tabela 12. Ensaio $N_2 R_3 S_2$

C A L H A S

Repetições	1ª	2ª	3ª	4ª	Total
1ª	3,360	3,870	3,645	2,515	13,39
2ª	3,160	3,325	3,100	1,975	11,53
3ª	3,395	3,650	3,145	3,305	13,49
4ª	2,945	3,215	2,835	3,160	12,15
Total	12,83	14,06	12,72	10,95	

A G R A D E C I M E N T O S

Expressamos nossos agradecimentos a:

- . Prof. Dr. Luiz Geraldo Mialhe, Prof. Assistente da Cadeira de Mecânica, Motores e Máquinas, da E.S.A. "Luiz de Queiroz", da U.S.P., pela orientação do presente trabalho.
- . Prof. Dr. Humberto de Campos, Livre-Docente da Cadeira de Matemática, da E.S.A. "Luiz de Queiroz", pela orientação e sugestões apresentadas na análise estatística.
- . Fábrica Nacional de Implementos S.A. - FNI pelo fornecimento de máquinas distribuidoras de Calcário.

Instituto Interamericano de Ciências Agrícolas, IICA,
Zona Sul, e

- ao Itamarati - Ministério de Relações Exteriores do Brasil.
- Profs. Drs. O. Saad, A.M.L. Neptune, D.A. Ometto e Engs. Agrs. L.A. Balastreire e I.M. Dal Fabro pelas su gestões apresentadas.
- Universidad Nacional del Centro del Perú por la licencia concedida para la realización del Curso de Pós-Graduado en la ESALQ.